

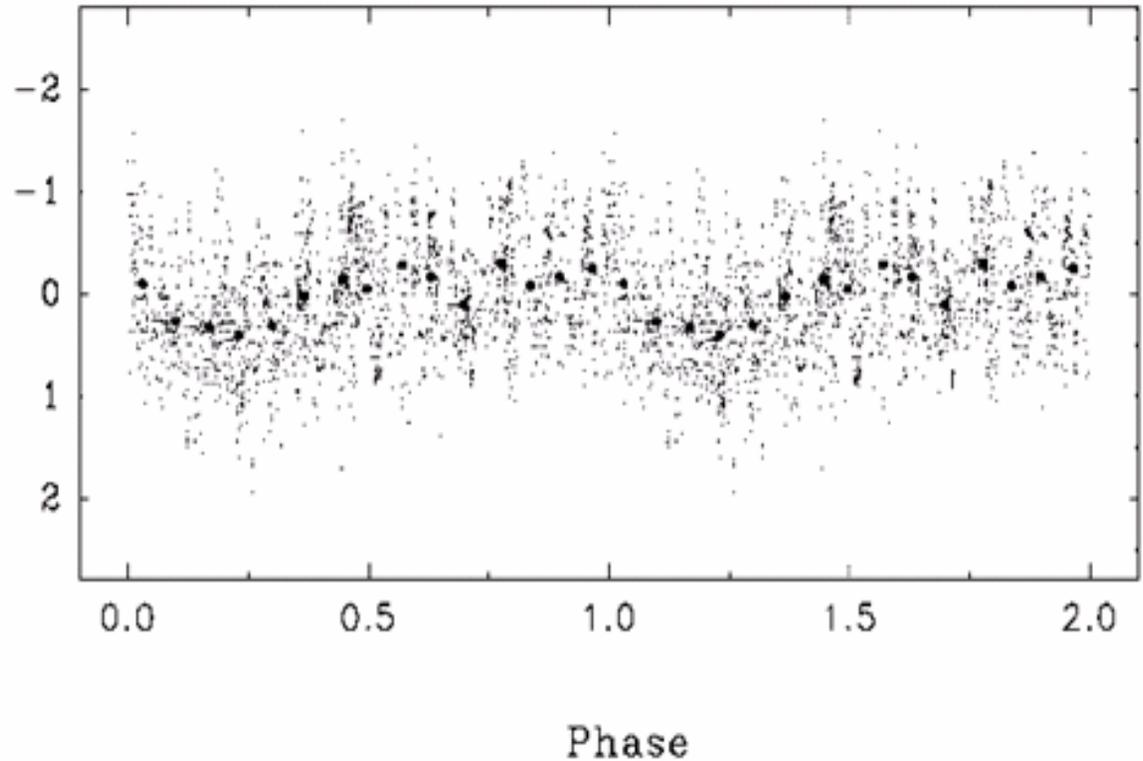
**Газодинамические процессы в молодых
двойных системах с маломассивными
компаньонами как источник циклических
вариаций околозвездной экстинкции**

**Н.Я. Сотникова,
В.П. Гринин и Т.В. Демидова**

(0) Мотивация

Циклическая активность звезд типа UX Ori:

Шевченко и др. (1993) - протокометы,
Гринин и др. (1998) - маломассивный компаньон, протопланета



Кривая блеска CO Ori, период 12.4 yr,
Ростопчина и др. (2006)

- (1) Метод и модель**
- (2) Структура СВ дисков**
- (3) Вариации экстинции**
- (4) Приложения (кривые блеска)**
- (5) Выводы**

(1) Метод и модель

Метод и модель - Artymowicz, Lubow (1994)

SPH уравнения

$$\frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = -m \sum_j \left(\frac{2\sqrt{P_i P_j}}{\rho_i \rho_j} + Q_{ij} \right) \times \nabla_i W(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j; h) - \nabla \varphi(\mathbf{r}_i),$$

$$P = c^2 \rho,$$

Численная вязкость

$$Q_{ij} = (-\alpha c \mu_{ij} + \beta \mu_{ij}^2) / \rho_{ij},$$

$$\mu_{ij} = h(\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_j)(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j) / (r_{ij}^2 + \eta^2),$$

$$\eta \simeq 0.1h$$

$$\alpha \simeq 1$$

$$\beta = 0$$

Эффективная вязкость

$$\nu \sim \alpha c h$$

Параметры модели

- **Орбита**

$$e = 0 - 0.5$$

- **Двойная система**

$$q = M_2 / M_1 = <0.01, 0.03>, 0.1 - 1.0$$

Параметры

- **СВ диск**

$$N = 50\,000 - 75\,000$$

$$R_{\text{out}} = 6 a \text{ (} a \text{ - большая полуось)}$$

$$T_{\text{end}} \sim \text{до to } 600 P_{\text{orb}}$$

- **Вязкость**

$$c = (0.01 - 0.08) \Omega_{\text{orb}} a$$

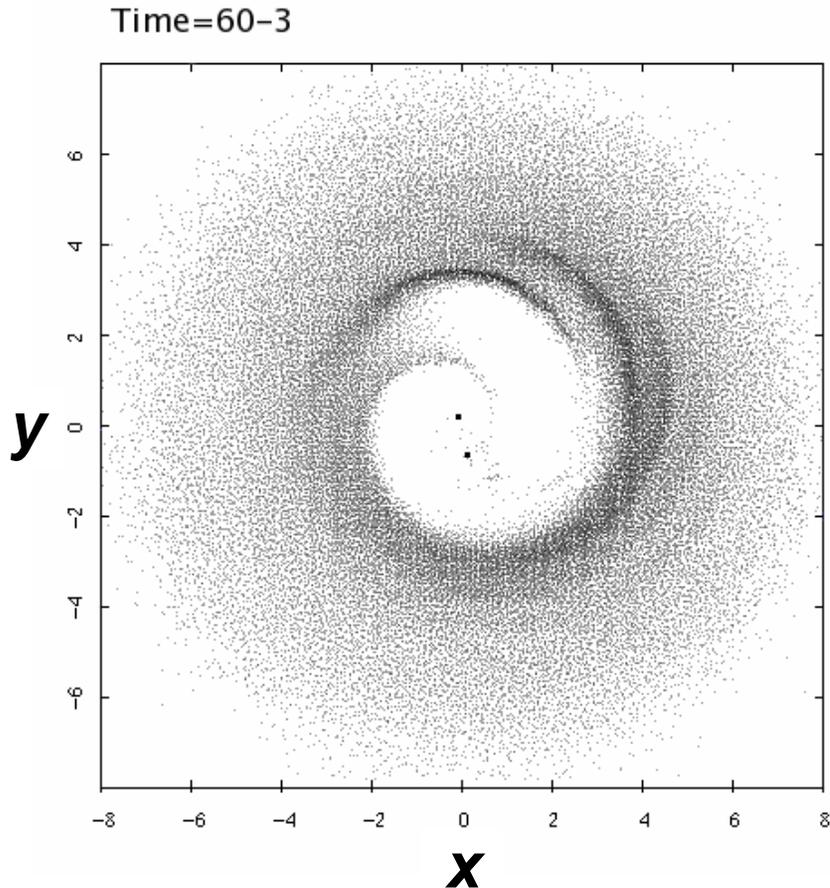
0.01 - "холодный" диск

0.05 - "тёплый" диск

0.08 - "горячий" диск

(2) Структура СВ диска

Глобальная асимметрия



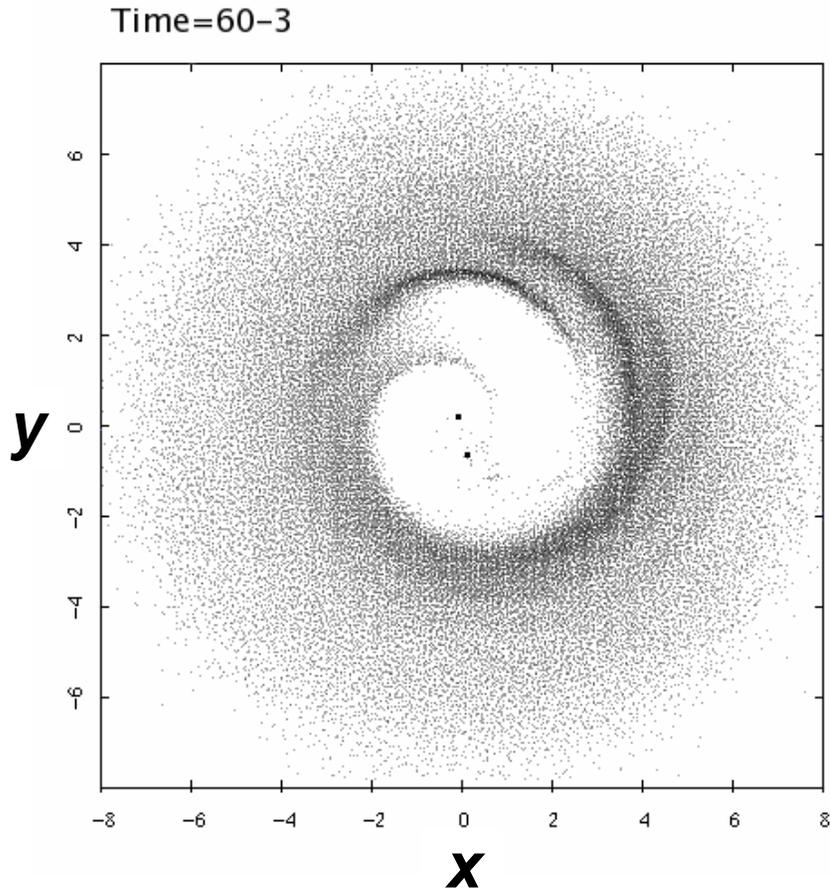
$$M_2 : M_1 \sim 1 : 3$$

$e = 0.5$; "тёплый" диск

[впервые:
Artymowicz, Lubow (1994)]

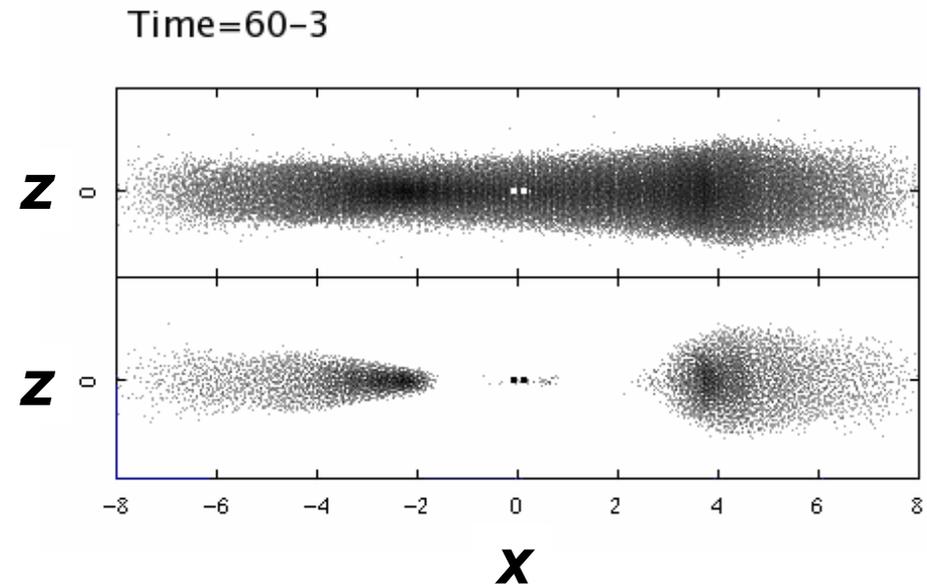
(2) Структура СВ диска

Глобальная асимметрия



$$M_2 : M_1 \sim 1 : 3$$

$e = 0.5$; "тёплый" диск

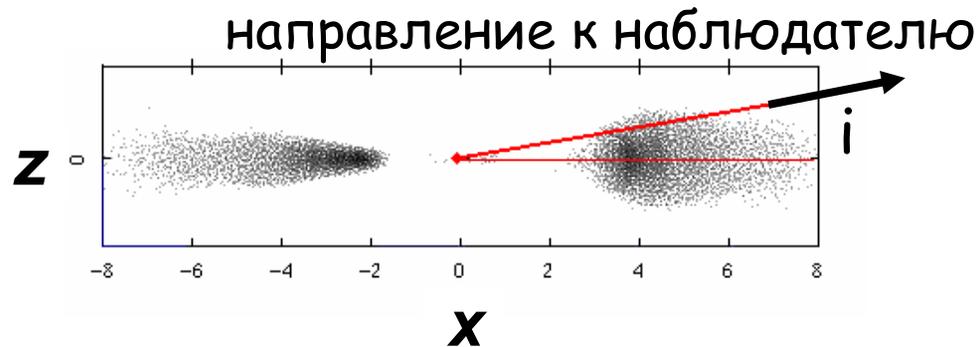
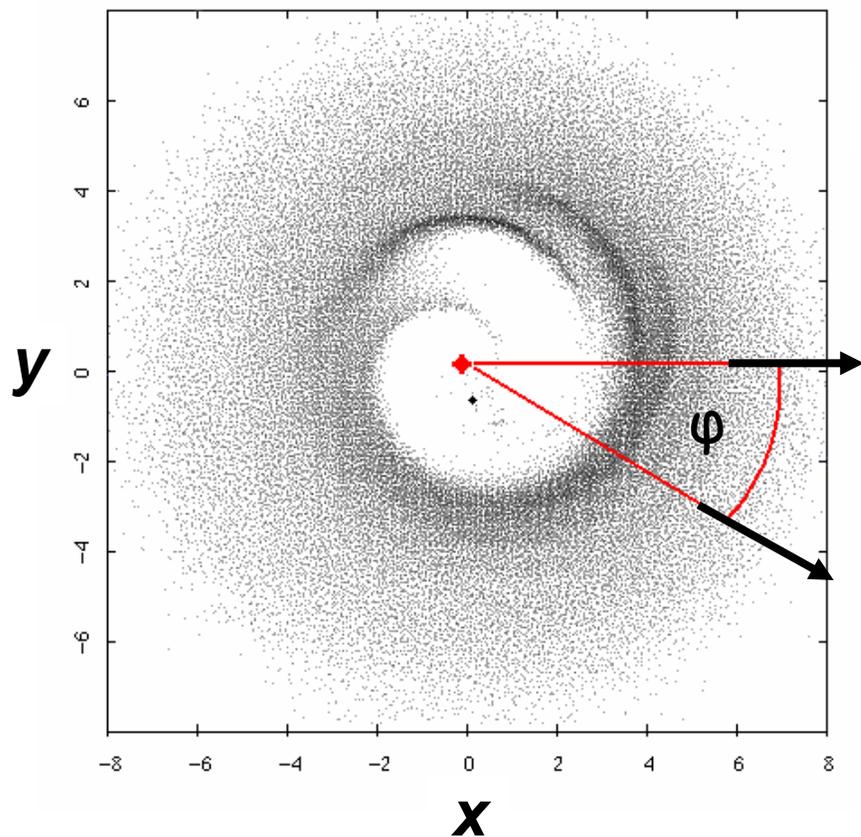


[впервые:
Artymowicz, Lubow (1994)]

Сотникова, Гринин (2007)

(3) Экстинция

Определение экстинции Вариации лучевой концентрации $n(\varphi, i)$

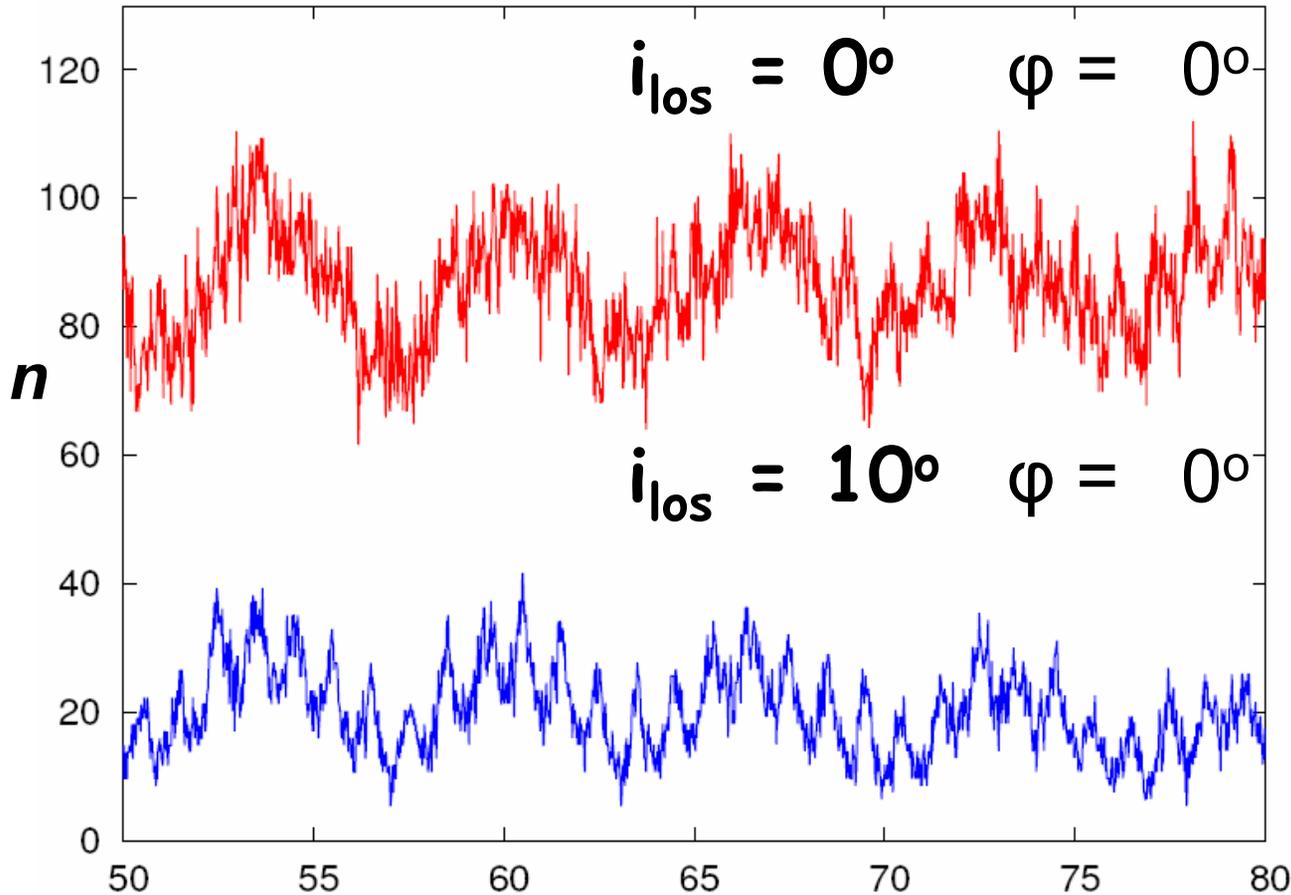


направление на апоцентр спутника

направление к наблюдателю

(3) Экстинция

Орбитальный и "промежуточный периоды"
(+зависимость от наклона орбиты к лучу зрения)



$$M_2 : M_1 = 1 : 2$$

$$e = 0.5$$

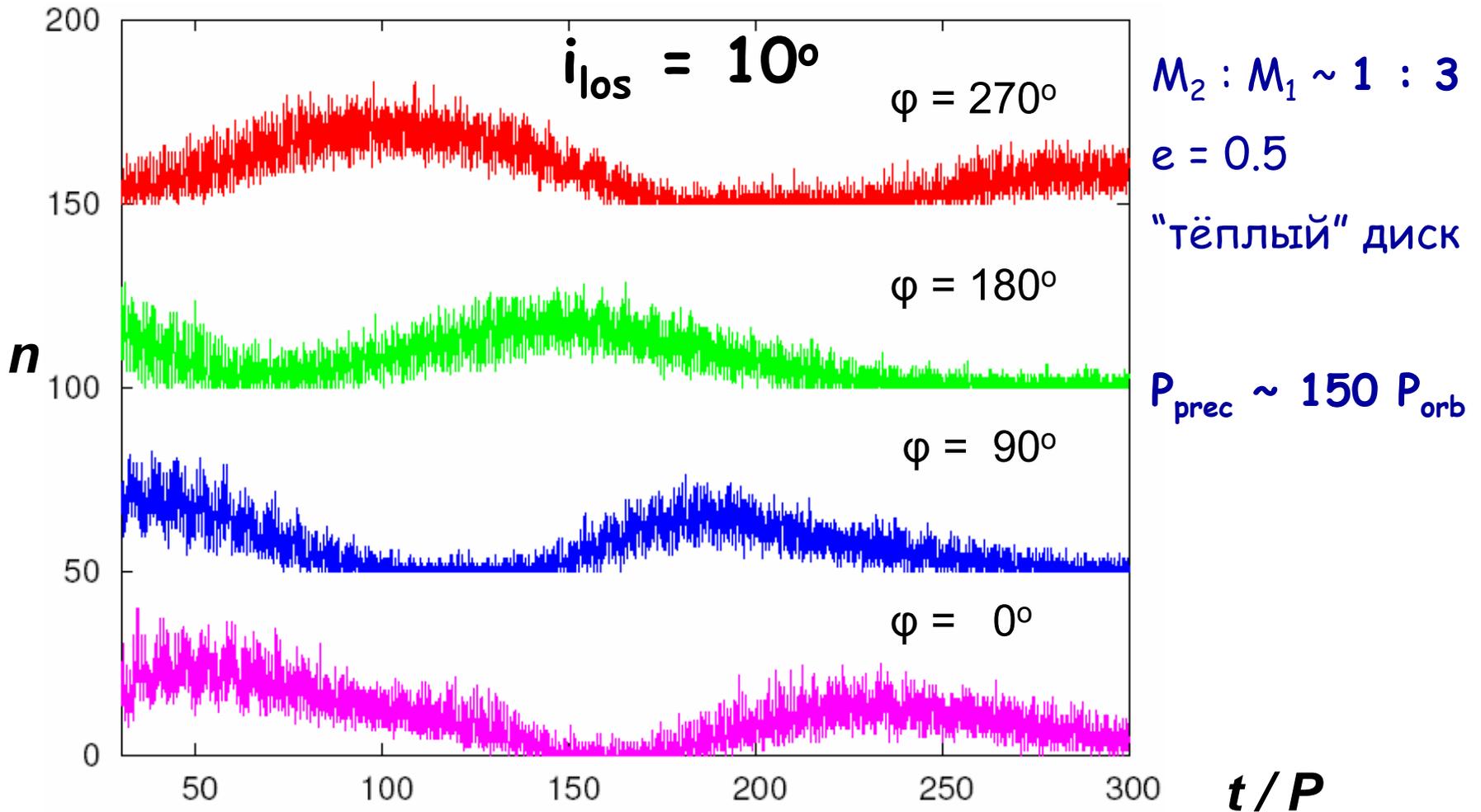
"тёплый" диск

$$P_1 = P_{\text{orb}}$$

$$P_2 : P_1 \sim 5-8$$

(3) Экстинция

Долгопериодические вариации



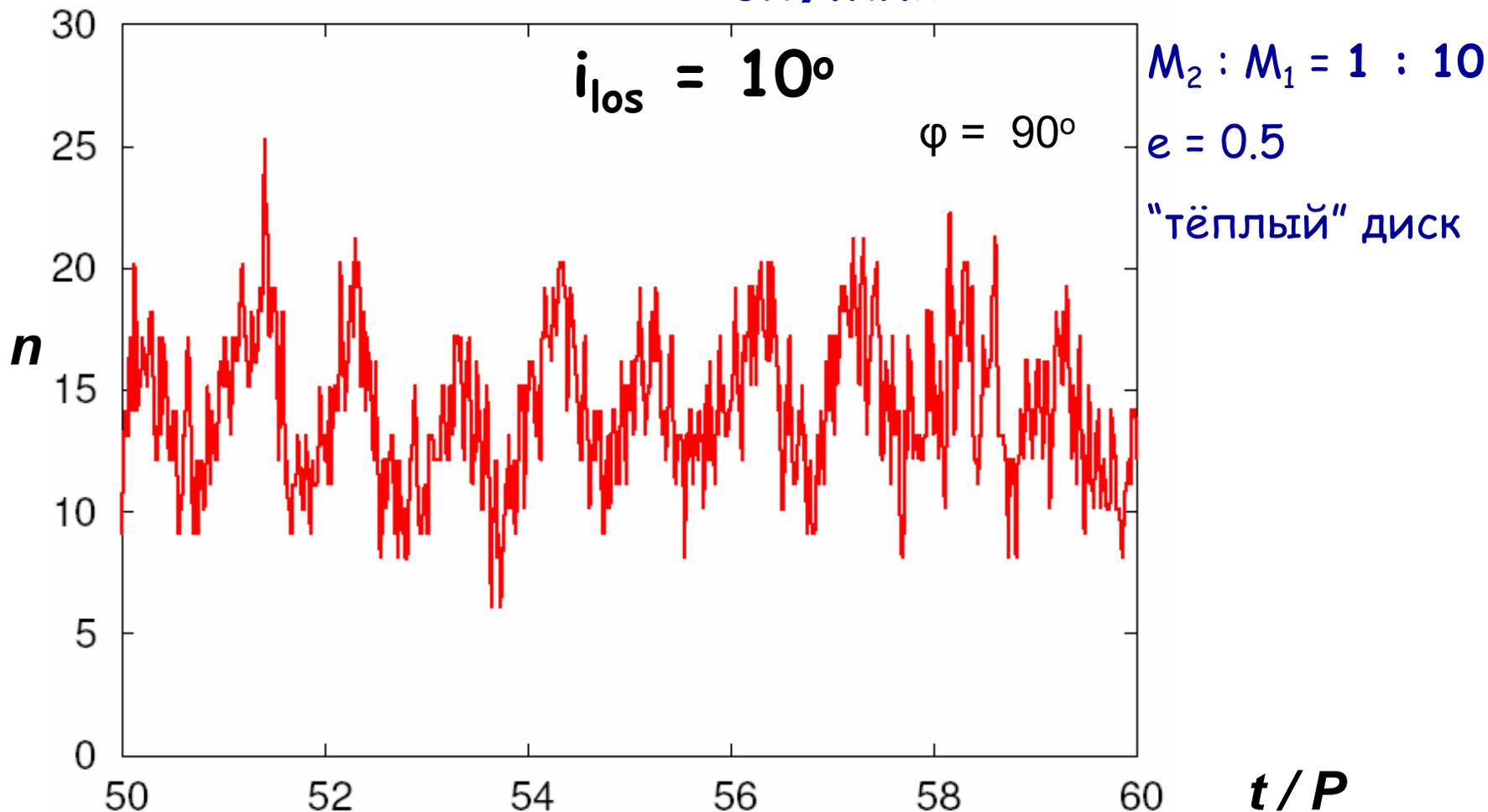
(3) Экстинция

Общие закономерности

- (1) Вековой период (прецессия) - круговые и вытянутые орбиты; отношение масс компонентов $q = M_2/M_1 > 0.2$; тем длиннее, чем меньше вязкость.
- (2) "Промежуточный" период (движение вещества вблизи внутренней границы диска) - орбиты с большим эксцентриситетом, компоненты сравнимых масс.
- (3) Орбитальный период - во всех моделях; постоянная составляющая экстинции тем меньше, чем больше наклон орбиты к лучу зрения; относительные изменения экстинции в этом случае больше.

(3) Экстинция

Вариации лучевой концентрации - маломассивный спутник



(4) Приложения

Вариации потока - компоненты сравнимых масс (двойная волна)

$$M_2 / M_1 = 0.3$$

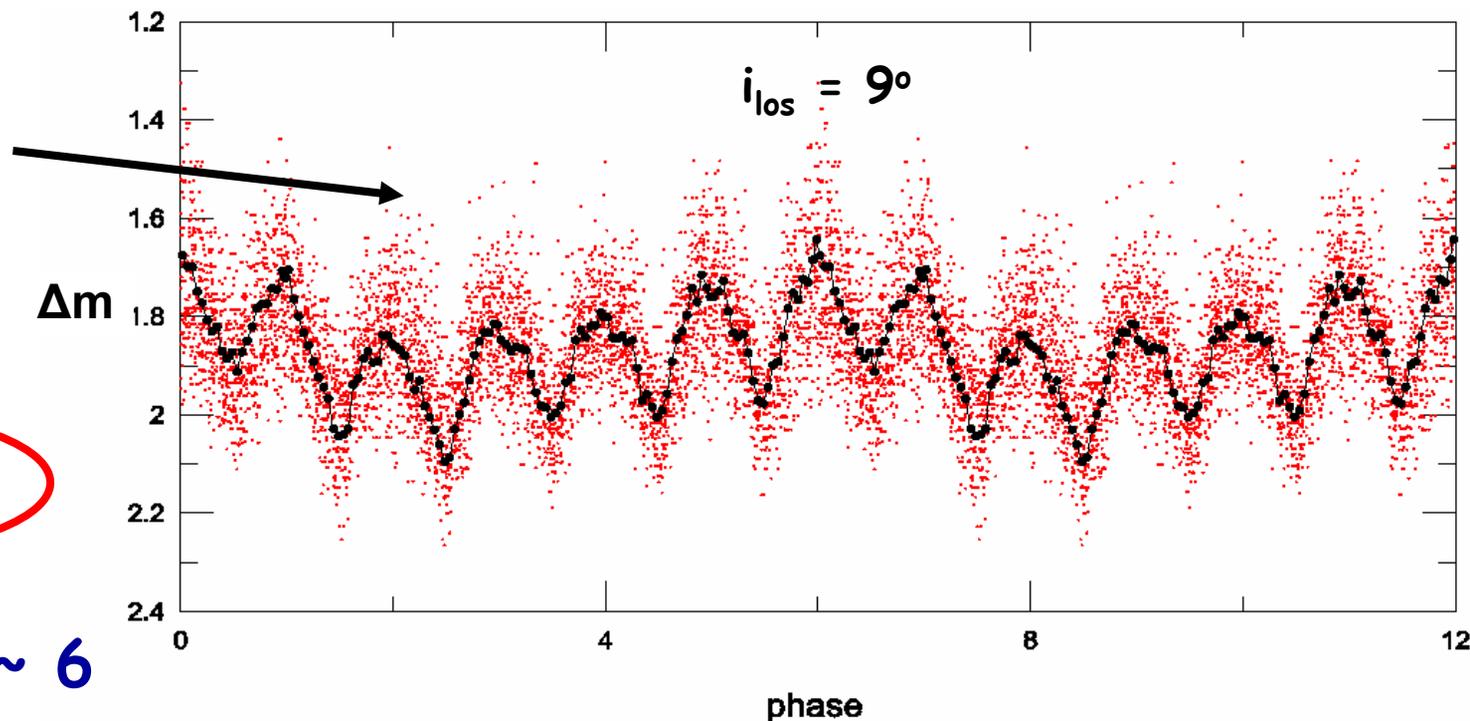
$$e = 0.5$$

"теплый" диск

V band

$$\Delta m \sim 1^m.0$$

$$\omega = P_2 : P_1 \sim 6$$



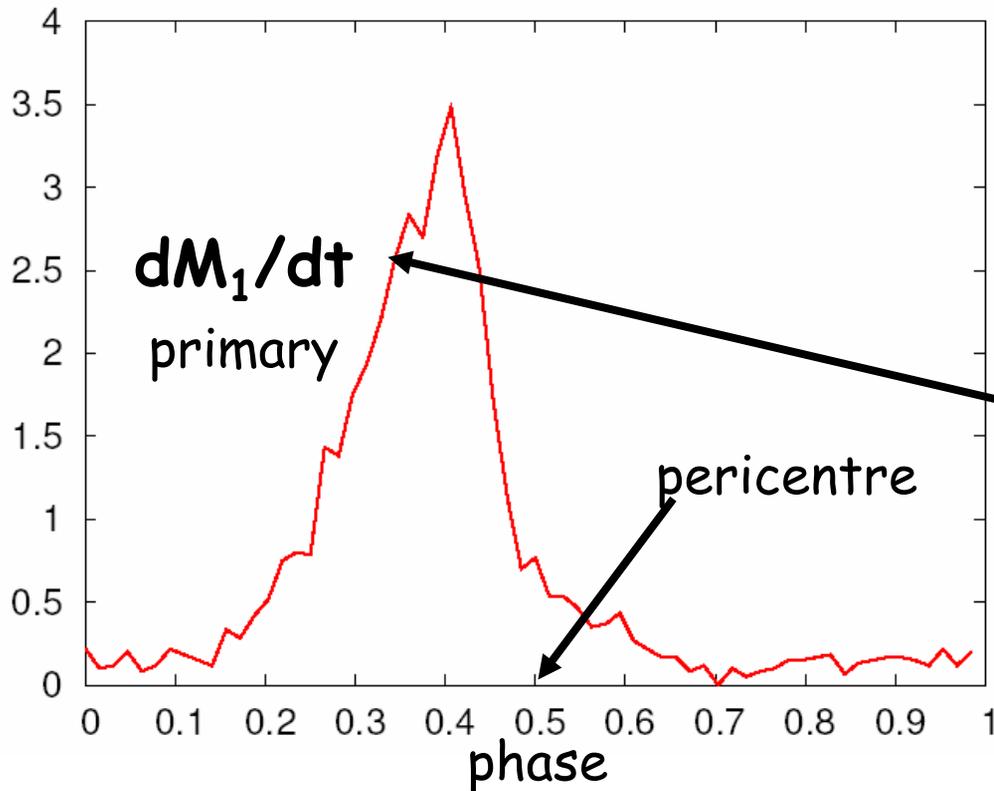
CQ Tau: Shakhovskoj et al. (2005) $\omega \approx 7.5$

SV Cep: Rastopchina et al. (1999) $\omega \approx 6.1$

(4) Приложения

Вариации потока - маломассивный компаньон

Темп аккреции - Artymowicz, Lubow (1996)



$$M_{\text{dust}} : M_{\text{gas}} = 1 : 100$$

$$\kappa = 250 \text{ g cm}^{-2}$$

(mass extinction coefficient)

$$dM/dt =$$

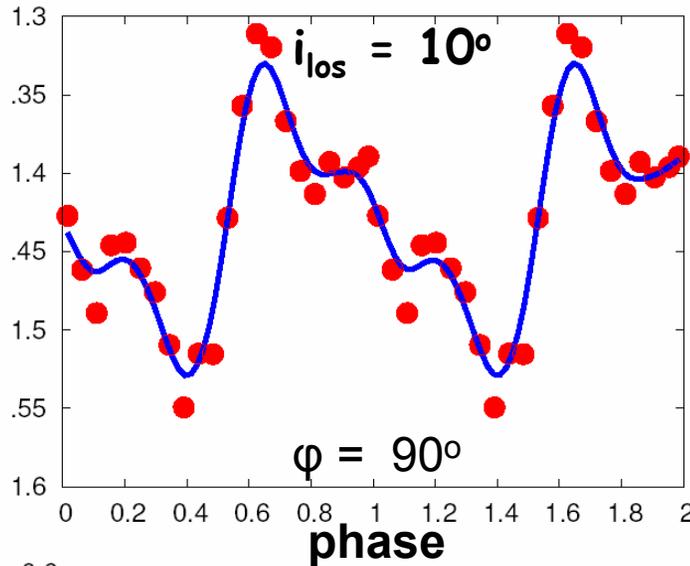
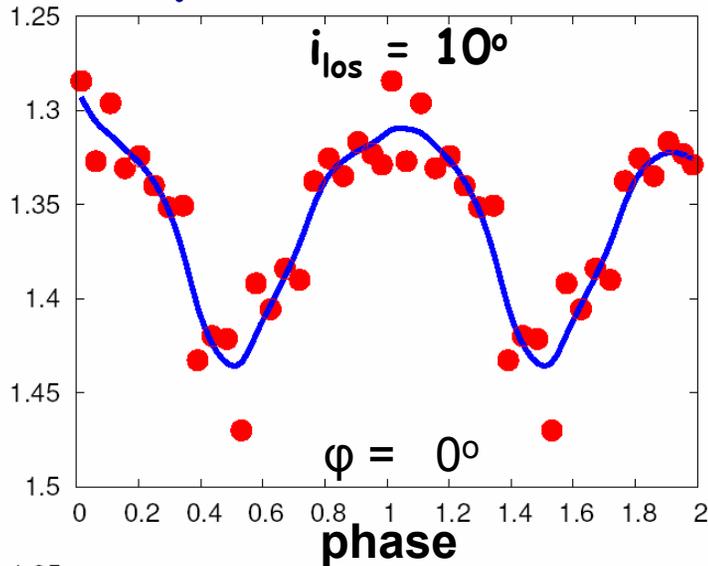
$$(10^{-10} - 10^{-9}) M_{\text{sun}} \text{ yr}^{-1}$$

$$M_2 : M_1 \sim 1 : 30$$

$e = 0.5$, "тёплый" диск

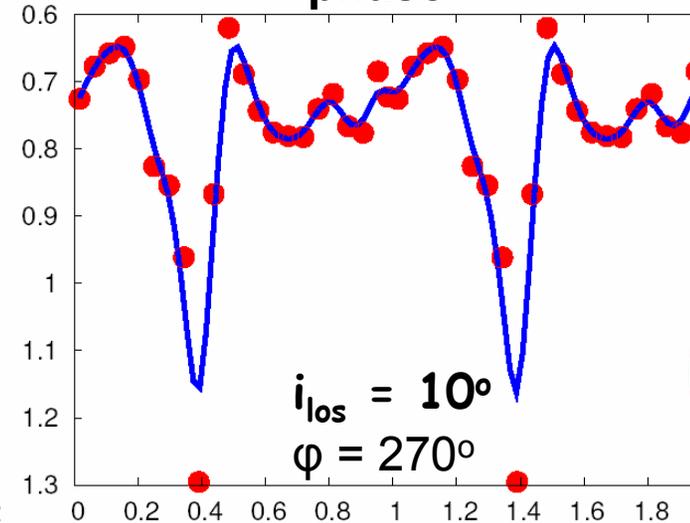
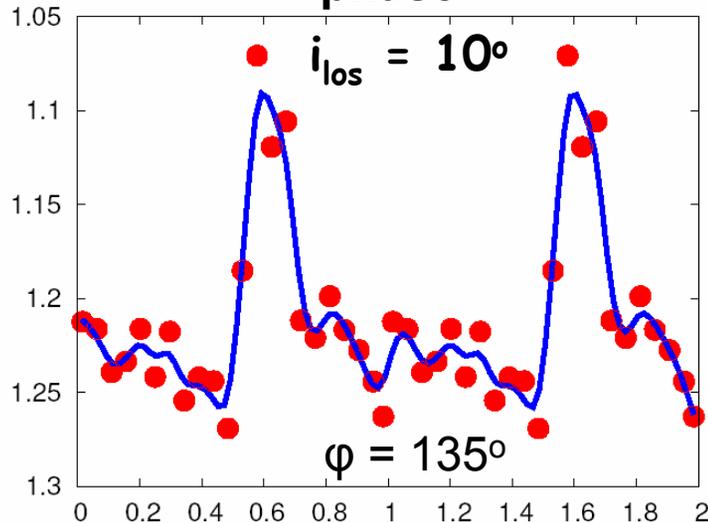
(4) Приложения

Вариации потока - маломассивный компаньон



$M_2/M_1 =$
0.03
 $e = 0.5$
"тёплый"
ДИСК

V band

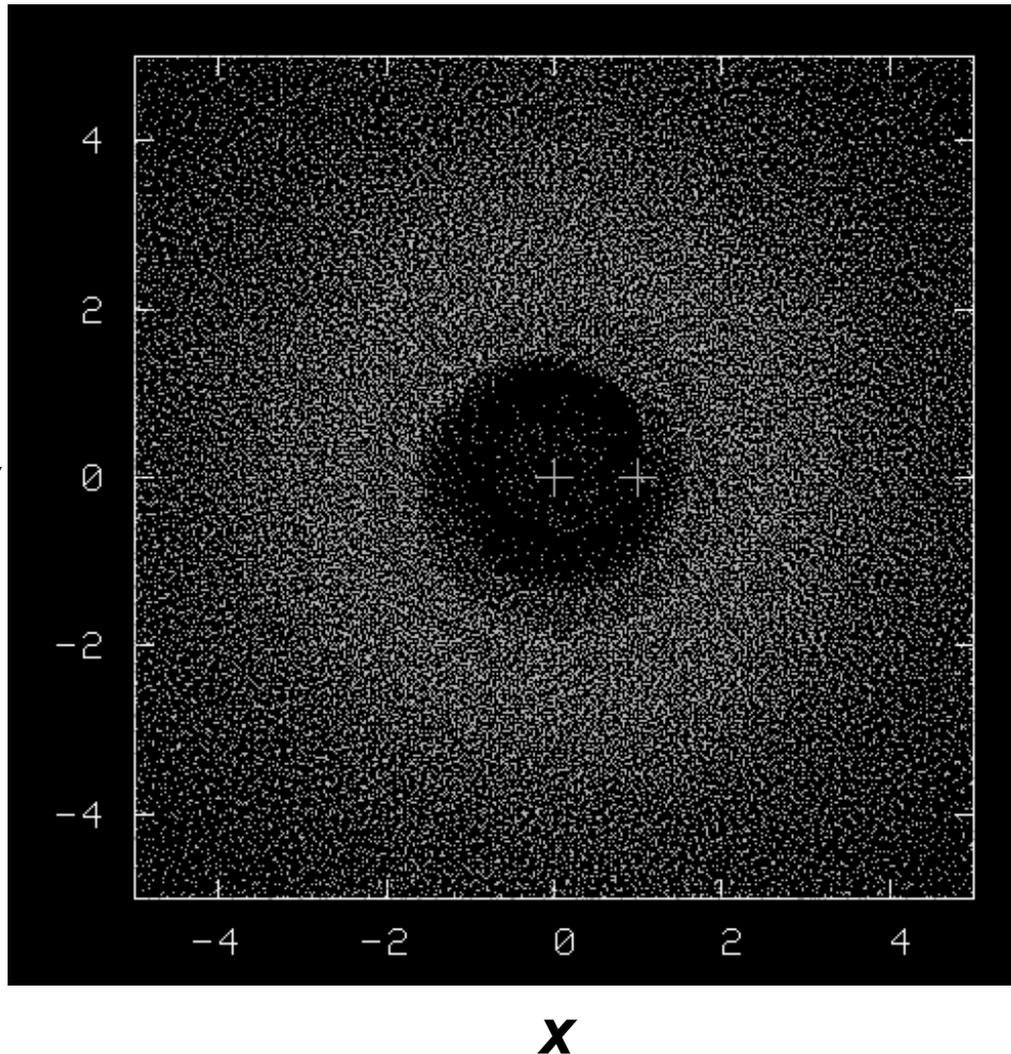


$M_{accr} =$
 $10^{-9} M_{sun}/yr$

$\Delta m \sim$
 $0^m.2 - 0^m.6$

(4) Приложения

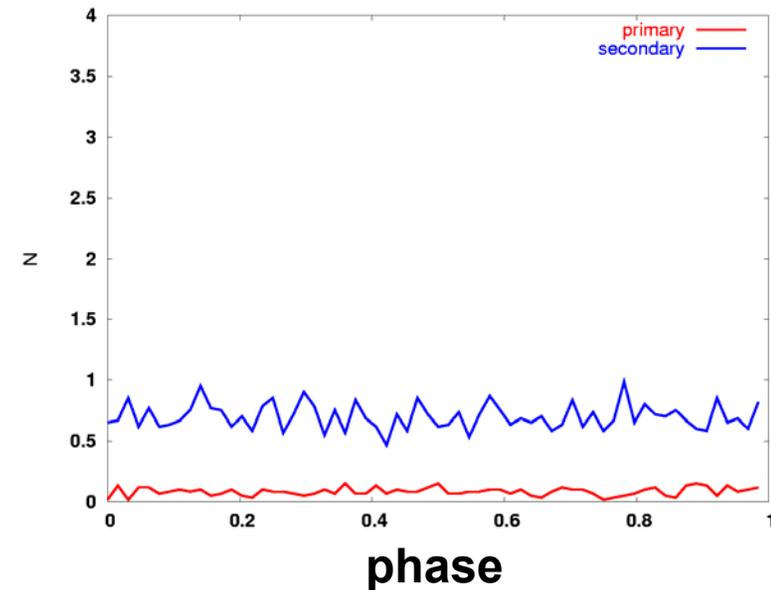
Вариации потока - круговая орбита



$$M_2/M_1 \sim 1:100$$

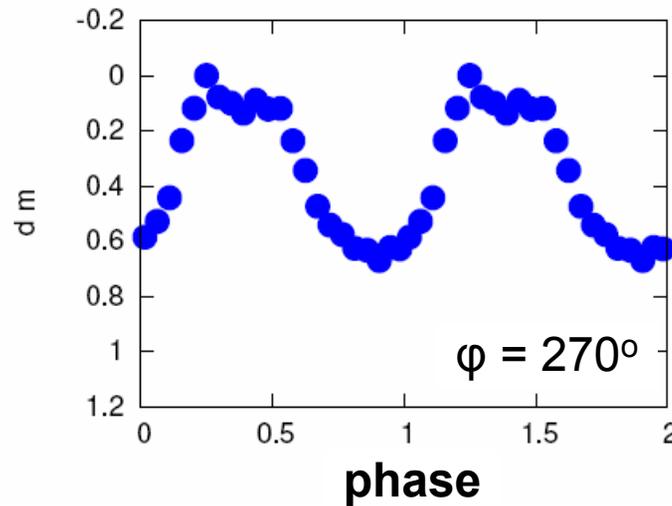
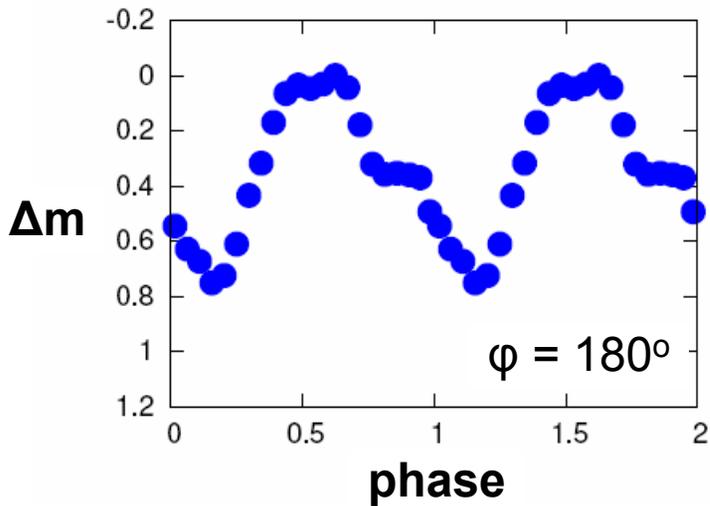
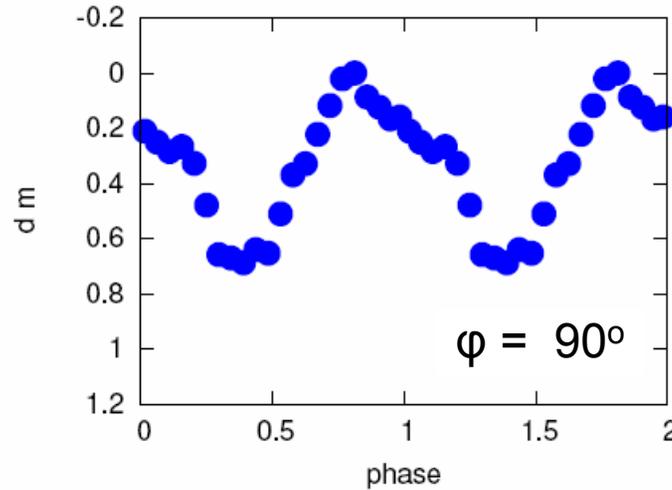
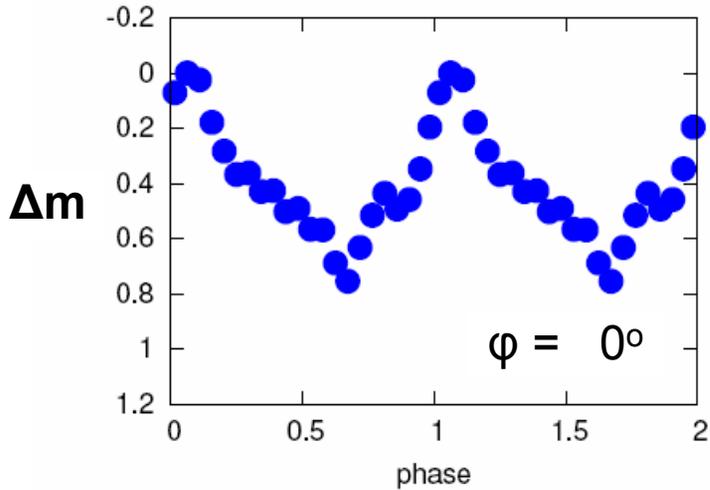
$$e = 0$$

"тёплый" диск



(4) Приложения

Вариации потока ($i = 9^\circ$)



$$M_2/M_1 \sim 1:100$$

$$e = 0$$

"тёплый"

ДИСК

V band

$$M_{\text{accr}} =$$

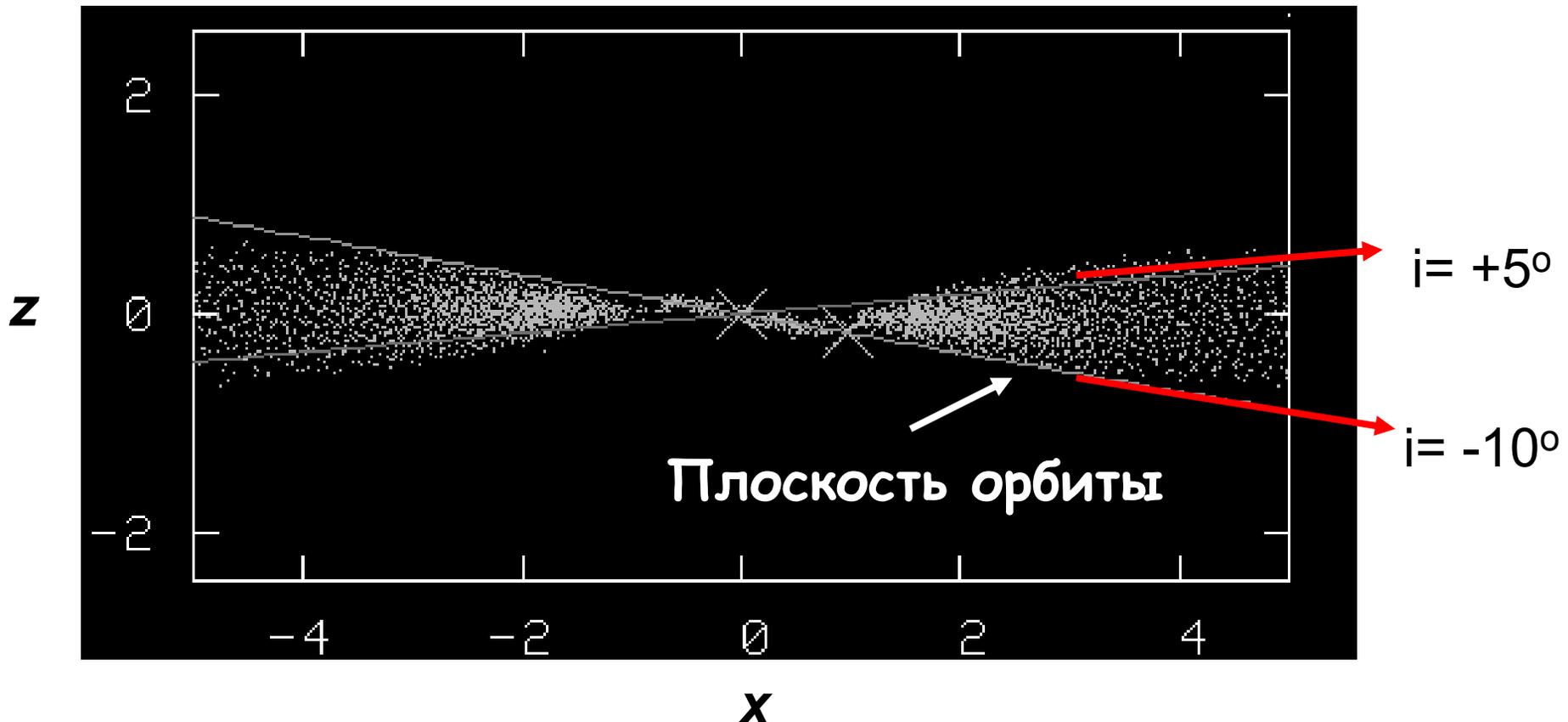
$$10^{-9} M_{\text{sun}}/\text{yr}$$

$$\Delta m > 0^m.5$$

(4) Приложения

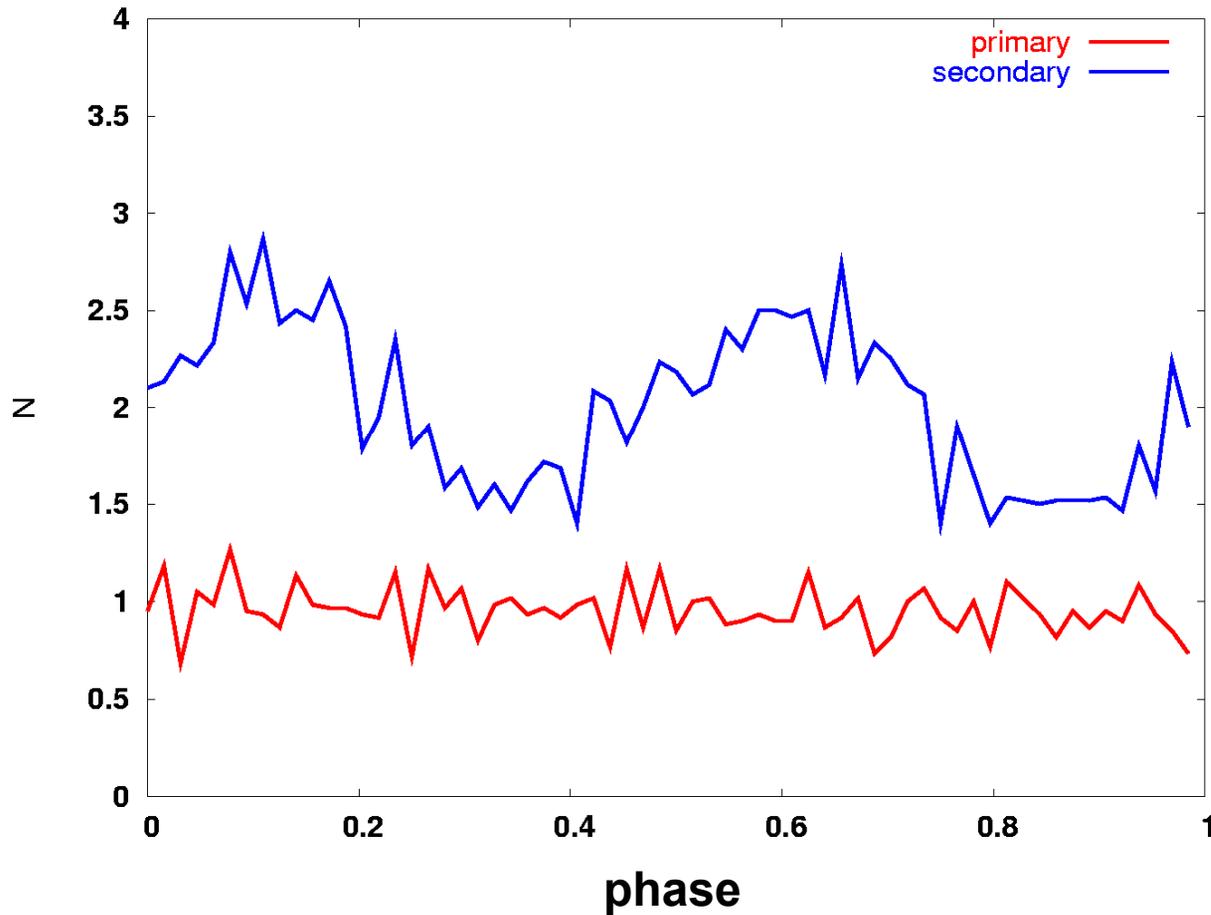
Вариации потока – круговая орбита, наклонный диск

$M_2/M_1 \sim 1:100$, $e = 0$, "тёплый" диск



(4) Приложения

Вариации потока – круговая орбита, наклонный диск



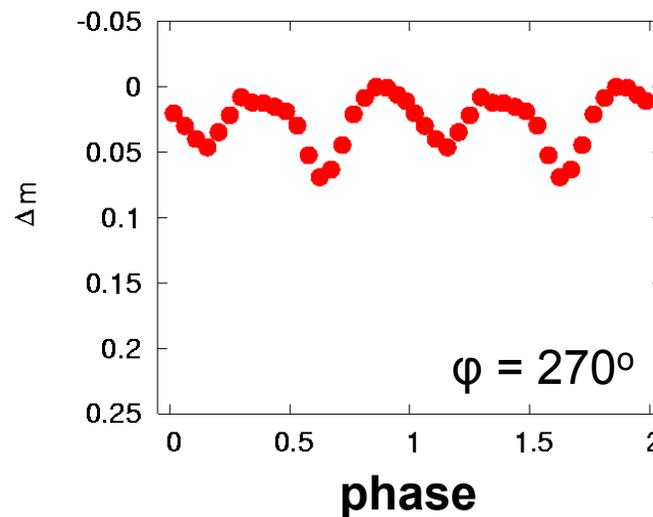
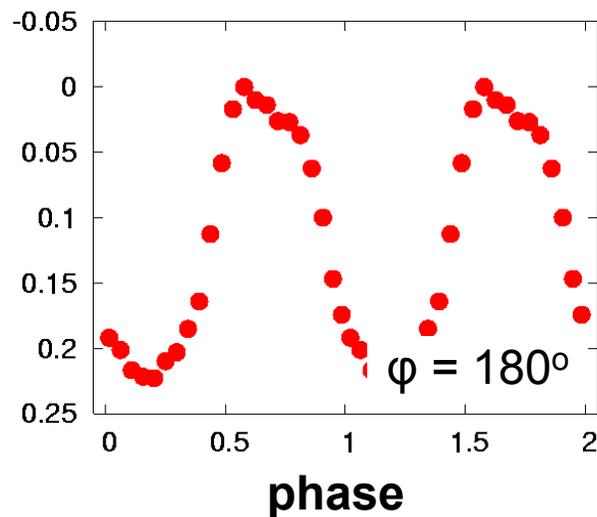
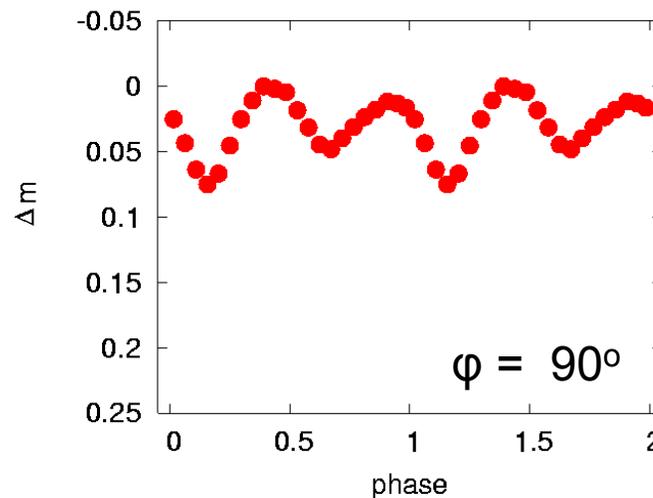
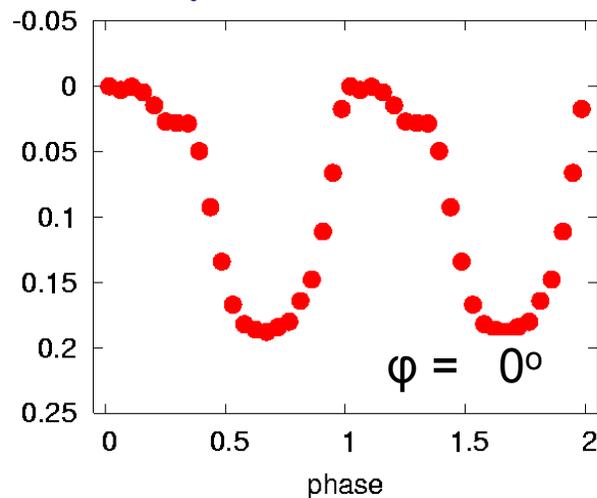
$$M_2/M_1 \sim 1:100$$

$$e = 0$$

"тёплый" диск

(4) Приложения

Вариации потока - наклонный диск ($i = +5^\circ$)



$$M_2/M_1 \sim 1:100$$

$e = 0$
(inclined)
"тёплый" диск

V band

$$M_{\text{accr}} = 10^{-10} M_{\text{sun}}/\text{yr}$$

$$\Delta m > 0^m.2$$

(5) Заключение

- (1) При малых углах наклона СВ диска к лучу зрения наблюдаются периодические изменения лучевой концентрации газопылевого вещества в направлении на главный компонент.
- (2) В результате периодических изменений лучевой концентрации происходят периодические изменения экстинции и блеска главного компонента.
В общем случае выделяются три периода.

- (3) При $M_2 : M_1 > 0.3$ выделяется "двойная волна" на кривой блеска (орбитальный период - P_1 и промежуточный период - P_2 : $P_2/P_1 \sim 5-8$) как, например, у CQ Tau и SV Ser. Это может быть признаком двойственности системы.
- (4) При $M_2 : M_1 < 0.03$ хорошо виден основной (орбитальный) период с амплитудой $> 0^m.5$. Такая модуляция может быть указанием на наличие маломассивного спутника.

Main results:

Astronomy Letters 33, 594-603 (2007)

JENAM 2008, invited report

Astronomy Letters (?), in preparation (2009)

Спасибо за внимание!